無線LANによるエリア検知の導入支援方式

Installation Support Tool for Wi-Fi-based Area Distinction System

● 肥田一生　● 沢田健介　● 廣川幸男　● 柳沼義典

あらまし

ワークスタイルの多様化に伴い，あらゆる場所でサービスを受けることができるモビリティサービスが求められるようになってきた。モビリティサービスの一つとして，場所に応じてサービスを提供するLBS(Location-Based Service)が注目を集めており，屋内向けのLBSを実現するために様々なエリア検知手段が提案されている。特に無線LANを利用したエリア検知手段は測位のために新規にインフラを設置する必要性が低いため注目されている。しかし電波を利用する技術の検知性能を判断するためには，専門的な知識が必要であった。そこで無線LANを利用したエリア検知手段において，各エリア間の検知性能を可視化することで誰にでも検知性能を判断できる方式を開発した。

本稿では，この無線LANによるエリア検知の導入支援方式と検証結果について述べる。

Abstract

In this paper, an installation support tool for a Wi-Fi-based area distinction system is proposed. Along with recent diversified work styles, mobility services have been required to provide services to people anywhere. As one of these mobility services, location-based service (LBS) is getting popular. Various kinds of area distinction methods have been proposed to embody an indoor LBS. Especially, Wi-Fi-based methods have advantages because no new device for the LBS is necessary. However, expert knowledge and skills are required to install a Wi-Fi-based area distinction system, because it is too difficult to estimate the system's performance beforehand. Therefore, the authors developed an installation support tool for a Wi-Fi-based area distinction system. This tool can be used easily by anyone because it has an ability to visualize the area distinction performance in advance. The performance of the proposed system was evaluated in an experimental study.

ま え が き

ワークスタイルの多様化に伴い，あらゆる場所でサービスを受けることができるモビリティサービスが求められるようになってきた。モビリティサービスを実現するためには，高機能なモバイルデバイスと無線通信が必要となる。現在はスマートフォンと無線LANが世界的に広く普及してきており，[1), 2)] モビリティサービスを享受する基盤が整いつつある。

モビリティサービスの一つとして，場所に応じてサービスを提供するLBS（Location-Based Service）が注目を集めており，市場が急速に拡大している。[3)] 例えば，観光スポットの近くにいる人に，そのスポットに応じたおすすめ情報をスマートフォンに通知するアプリ[4)]や，博物館の展示エリアに進入した人に展示物の解説を映像と音声で説明するアプリ[5)]などがある。

屋外のLBSでは位置情報取得手段としてGPS（Global Positioning System）を利用するものが多いが，屋内向けのLBSは無線LAN，光，IMES（Indoor Messaging System）など，様々な技術を応用したものが提案されている。[6)] しかしいずれも新規にインフラを設置する必要があるため，コストの問題で技術導入の障壁が高くなるという問題があった。そこで世界的に広く普及してきている無線LANが注目されている。無線LANは既設インフラを再利用することによって技術導入の障壁を低くすることが可能である。また，世界共通の技術を利用していることからグローバル展開に対する障壁も低い。

しかし無線LANによるエリア検知では壁などによるマルチパスが精度劣化の原因になる。そこでマルチパスによる複雑な伝搬環境にも強いエリア検知技術も開発されている。具体的には事前にエリアの電波｛アクセスポイント（AP）のRSSI（Received Signal Strength Indicator：受信信号強度）｝の特徴を取得し，観測された特徴と最も類似している特徴を持つエリアに観測者が存在すると推定する（**図-1**）。この技術は，顧客の環境を利用することが可能であり，また比較的環境変化に影響されにくいエリア検知技術として注目されている。しかし，無線LANを利用する特性上，対象となる環境の検知性能を判断するためには，電波伝搬の専門知識が必要となり，顧客への技術導入の妨げになっていた。

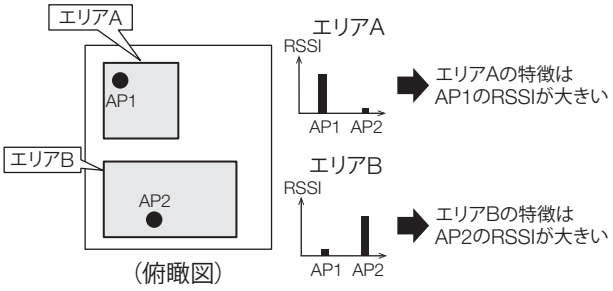


図-1　無線LANによるエリア検知手法

このような課題の解決に向けて，エリアの検知性能を可視化することにより，誰でも簡単に検知性能を判断できる屋内エリア検知技術の導入支援方式を開発した。本稿では，導入支援方式の紹介と検証結果を述べる。

従 来 方 式

無線LANによるエリア検知性能を判断するための方法として，無線LANのRSSIの可視化による分析がある。具体的には，無線LANのRSSIを端末で測定し，強度別に色分けして地図上に重畳し（**図-2**），可視化した電波の伝搬状態を基にエリア検知性能を分析する。しかし，この情報からエリア検知性能を分析するには電波伝搬の専門知識が必要である。

また，取扱説明書で正しく動作させるためのインフラの設置間隔や設置環境を指定することで，一定の検知性能を維持しようとしている製品もある。しかし，全ての顧客環境に合わせた取扱説明書を作成することは困難であり，設置間隔と設置環境の説明だけでは検知性能を判断することも難しい。更に，既に設置されているAPへの対応も必要となる。

そのほか多くの関連技術では検知環境の構築後，評価試験を行って検知性能を確認している。評価データの有意性を示すためには，多くの評価試験が必要となる。そのため，作業時間が多くなり，顧客への技術導入の妨げとなる。つまり，電波の専門知識が不要で，誰でも簡単にエリア検知性能を判断できる方式が必要である。

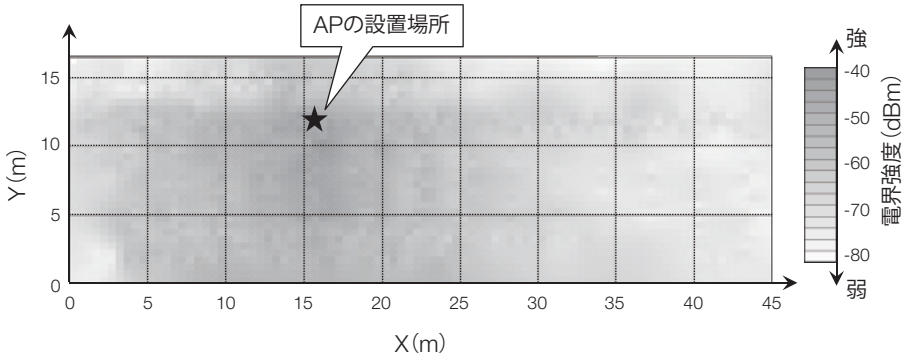


図-2　電波伝搬状態の可視化

提　案　方　式

そこで，誰でも簡単にエリア検知性能が判断できるようにするために，性能判断工程を五つの工程に分類し，順次実施することで検知性能を論理的に評価する方式を開発した。以下に各工程について述べる。

(1) 実環境情報入力

無線LANを用いたエリア検知手法は，顧客の環境を有効利用できる。そのため，まず現場の無線LAN環境情報を把握し，顧客が希望するエリアを検知できるかどうかを評価する必要がある。本工程では，顧客が希望するエリアと既設のAPの情報をデータ化し，顧客の環境におけるエリア検知性能の評価に使用する。エリアと既設APに関して以下の情報をデータ化する。

・エリアの位置
・エリアの面積
・APの設置位置
・APの送信電力
・APの送信周波数

各情報は，**図-3**に示す環境情報入力画面でGUIにより登録する。顧客現場の地図上にエリアの位置と大きさを示す矩形のアイコンと，既設のAPを示す円形のアイコンをマウスのドラッグ＆ドロップで登録する。

(2) エリア検知精度シミュレーション

本工程では，(1) の工程で入力された実環境情報からユーザーが設定した各エリアのエリア検知精度を独自のアルゴリズムにより算出し可視化する。

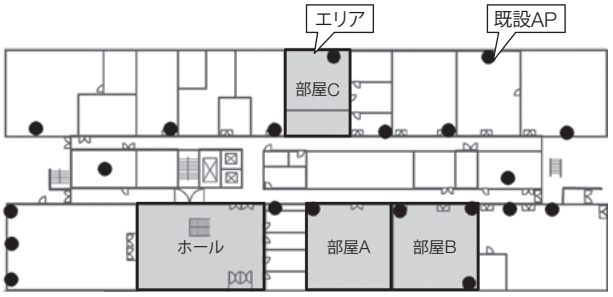


図-3　環境情報入力画面

まず，(1) の工程で入力されたAPの設置位置，送信電力，送信周波数の情報から，APごとに全エリア内のRSSI分布特性を算出する。RSSIの算出に必要な電波伝搬特性は，ITU-R勧告による屋内伝搬の伝搬損推定式[7]を使用している。次にAPごとに算出されたRSSIの地理的な分布特性を重畳することで，各地点におけるRSSIベクトルを得る。このようにして求めたRSSIベクトルが類似していないエリア同士は区別がしやすく，類似しているエリア同士は区別がしにくい。そこで，ある地点のRSSIベクトルと一定以上の類似性を持つRSSIベクトルを持つエリアの大きさを，その地点におけるエリア検知精度と定義する。RSSIベクトルの類似性はベクトル相関により判定する。そして，(1) の工程で入力されたエリアマップに上記計算で求めたエリア検知精度を重畳して出力する。

出力されたエリア検知精度を**図-4**に示す。図-4で，エリア検知精度が低い地点は濃く，エリア検知精度が高い地点は薄く着色されている。図-4で示されたエリアは薄く着色された地点が多いことから，このエリアは高いエリア検知精度が期待で

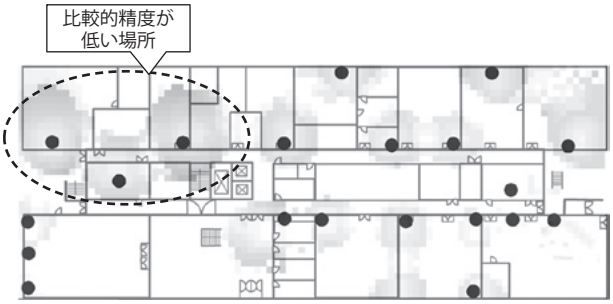


図-4　シミュレーション結果の表示画面

きる環境であると判定できる。しかし一部に濃く着色された地点を含むエリアが見られる。そのようなエリアではエリア検知精度が低い可能性がある環境であると判定する。

(3) 受信信号の強度測定

本工程では，後工程で実測データを用いた性能評価を行うために必要なRSSIデータを収集する。RSSI測定用端末を持ち，規定の測定時間だけ各エリア内を万遍なく歩行する。測定時間は（1）の工程で登録したエリアの面積を用いて算出する。具体的に測定時間 {T（min）} は，エリア面積 {S（m^2）} と，測定端末のサンプリング間隔 {t（s）} と，台数 {n（台）} により以下の式で算出する。この式は，人間がエリア内のあらゆる位置と向きでデータを取得できるのに十分な時間を実験的に求めた。

$$T=0.103\times S\times t\times n$$

(4) Wi-Fi電波環境の可視化

（3）の工程で収集したRSSIデータを用いて，各エリアの電波環境の特徴を把握するとともに，各エリアの電波環境の類似度を可視化する。これにより，誤検知しやすいエリアを抽出することが可能となり，エリア検知性能を保証できるエリアを明確にできる。

あるエリア（X）で収集したRSSIデータ（$x1, x2, \cdots, xn$）に対して，そのほかのエリア（Y）のRSSIデータ（$y1, y2, \cdots, yn$）との相関値（R）を以下の式で算出する。

$$R=\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2}}$$

上記2エリア（XとY）で収集した全てのRSSIデータを用いて相関値を算出し，エリア同士のRSSIの相関値の度数分布表を作成する。この処理を全てのエリアに対して行う。作成された度数分布表の形状は，度数のピークの位置と高さに応じて**図-5**の5パターンに分類できる。度数のピークが低い相関値である場合，エリア間のRSSIの電波環境は相違していると考えられるため，エリア検知ができる可能性は高いと判断できる。

(5) 誤検知率算出

（3）の工程で収集したRSSIデータの一部を用いて，各エリアのエリア誤検知率を算出することにより，エリア検知性能を可視化する。

（3）の工程で収集したRSSIデータを学習データと観測データに分割し，エリア検知を実行する。その結果，各エリアで誤検知数と誤検知したエリアが算出される。エリア検知結果を踏まえて，エリア誤検知率は，ほかのエリアと間違えた確率と，ほかのエリアから間違えられた確率の平均値とした。

上記のエリア誤検知率から直接的に求めたエリア検知性能と，電波環境の類似性から論理的に求めたエリア検知性能の両方を確認することで，複数の観点からエリア検知性能を判断できる。また，実測値から求めたエリア検知性能であるため，正確なエリア検知性能を保証できる。

実　施　検　証

顧客の現場を想定して，実際に提案方式を用いたエリア検知性能を検証した。顧客の現場として**図-6**のようなオフィスを想定した。エリア検知に使用するAPは同一フロアに既設されている全AP（9個）を対象とし，四つのエリア（会議室A，会議室B，事務所，ホール）を定義した。

また本検証では，エリア検知エンジンとして，確率分布を用いたパターンマッチングアルゴリズム[8]を使用した。電測は，RSSIデータ収集アプリをインストールしたスマートフォン（サンプリング間隔は0.5秒）を2台保持して，各エリア内を5分間歩行して行った。電測時間は，前章（3）の工程で算出した値である。

前章（2）の工程によるエリア検知精度の算出結果を図-6に示す。事務所エリア内は，薄い色で示される地点が多く含まれている。つまり，事務所エリアについては検知精度が良いと推定できる。一方会議室Aエリア，会議室Bエリア，ホールエリ

ア内は，濃い色で示されている地点が含まれているため，検知精度が悪いと推定できる。

前章（4）の工程による相関値の度数分布を**図-7**に示す。(a)，(b)，(c）は度数のピークが相関値1付近に極端に存在している。また（d)，(e)，(f）は度数のピークが相関値0付近に存在している。

図-7の度数分布を図-5の分類に当てはめて各エリアを類似度で分類する。図-7の（a)，(b)，(c）の度数分布は図-5の類似度5の分布に類似しており，

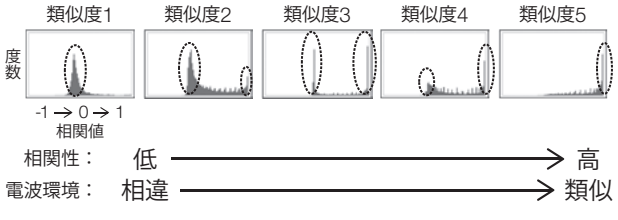


図-5　相関値の分布形状と電波環境の相関性

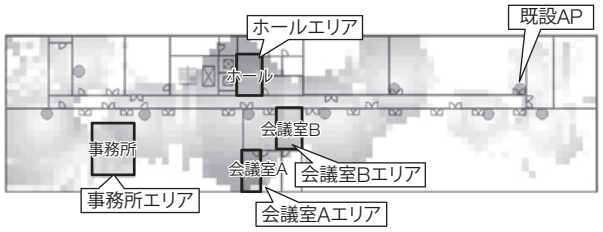


図-6　実施検証の環境とエリア検知精度のシミュレーション結果

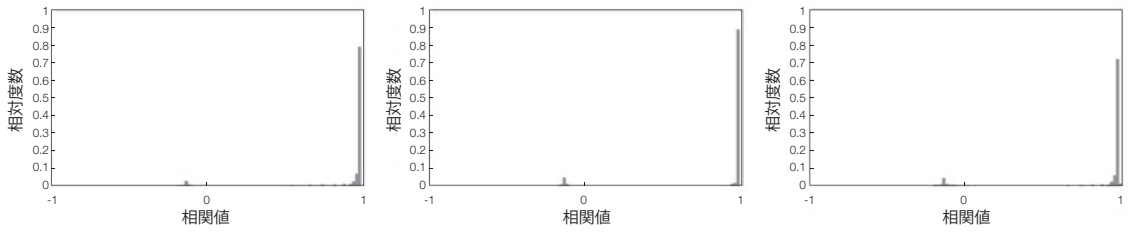
図-7の（d)，(e)，(f）の度数分布は，図-5の類似度1の分布に類似している。類似度をエリアごとに整理した結果を**表-1**に示す。事務所エリアはほかの全てのエリアに対して類似度1であることから，事務所エリアはほかの全てのエリアに対して電波環境が相違していることが分かる。そのため，事務所エリアは誤検知が発生しないと推定できる。また，会議室Aエリア，会議室Bエリア，ホールエリアはお互いに類似度5であることから，上記3エリアの電波環境は類似していることが分かる。そのため，上記三つのエリアは，誤検知が発生しやすいと推定できる。

前章（5）の工程で求めたエリア誤検知率を**表-2**に示す。事務所エリアは誤検知率が0％であり，表-1による推定結果と一致している。また表-1による推定結果から，会議室Aエリア，会議室Bエリア，ホールエリアは，お互いに誤検知が発生すると予想されるが，表-2では会議室Aエリアとホールエリ

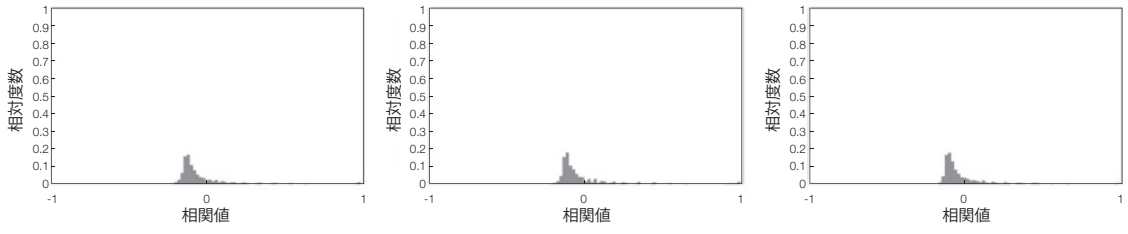
表-1　各エリアの電波環境の類似度

	会議室A	会議室B	ホール	事務所
会議室A	–	5	5	1
会議室B	–	–	5	1
ホール	–	–	–	1
事務所	–	–	–	–

（類似度）



(a) 会議室 A と会議室 B　(b) 会議室 A とホール　(c) 会議室 B とホール



(d) 事務所と会議室 B　(e) 事務所とホール　(f) 事務所と会議室 A

図-7　各エリアの相関値の度数分布

表-2　各エリアの誤検知率

	会議室A	会議室B	ホール	事務所
会議室A	–	3.3	0.0	0.0
会議室B	–	–	1.6	0.0
ホール	–	–	–	0.0
事務所	–	–	–	–

（単位：%）

アには誤検知が発生していない。これは，誤検知しにくいデータを観測データとして抽出したためと思われる。また誤検知率が最大で3%程度と全体的に低い理由も同様と思われる。

表-1と表-2の結果より，事務所エリアは精度良くエリア検知が可能であることを顧客に説明できる。一方会議室 Aエリア，会議室Bエリア，ホールエリアについては，誤検知が発生する可能性が高いことを顧客に説明できる。

このように誤検知が発生する可能性の高いエリアが発生した場合，エリアの再定義またはAPを追加することにより，エリア検知率を向上させることも可能である。本実施検証ではエリアの再定義を行う。

表-1から会議室Aエリア，会議室Bエリア，ホールエリアの電波環境は類似していることが分かる。一方上記3エリアは事務所エリアの電波環境と相違していることが分かる。そのため，上記3エリアを一つのエリアに統合することで，この統合したエリアと事務所エリアの二つのエリアに再定義できる。このように電波環境が類似しているエリア同士を統合して再定義することで，電波環境が相違しているエリアのみとなり，エリア検知率を向上させることが可能となる。

む　す　び

本稿では，論理的な評価による性能判断工程を五つに分類して順次実行することで，電波伝搬の専門知識と多くの検証試験を必要とすることなく無線LANによる屋内エリア検知の性能保証を実現できる技術を提案し，実際に検証した結果を示した。

提案方式によれば，技術導入の障壁を低く抑えながら，グローバル展開しやすい無線LANによるエリア検知技術の性能を誰でも簡単に判断できるようになる。これによりモビリティサービスであるLBSの市場がより活性化されることが期待できる。

また，提案方式は特定の空間における高次元ベクトルの特徴を可視化する機能を有しているが，この機能を電波伝搬特性以外の高次元ベクトルに応用できる可能性がある。例えば，オフィスにおけるコミュニケーションの状態や，業務の属性などのデータを要素とするベクトルを定義してオフィス空間を分析することで，非効率なコミュニケーションや業務の推進方法を可視化でき，オフィスレイアウトや業務効率の改善に役立つシステムの実現などが考えられる。

参考文献

（1）総務省：情報通信白書平成24年版．2012.
（2）総務省：無線LANビジネス研究会報告書．2012.
（3）Andre Malm：Mobile Location-Based Services. Berg Insight，2013.
（4）リクルートライフスタイル：RecoCheck. http://www.recruit-lifestyle.co.jp/news/2014/01/06/chikyuu_recocheck_20140107_1.pdf
（5）クウジット：トーハクなび. http://www.koozyt.com/solutions/amp/tohaku-navi-app
（6）財団法人ニューメディア開発協会：屋内測位普及発展に関する調査研究報告書．2009.
（7）細矢良雄：電波伝搬ハンドブック．初版，東京，リアライズ理工センター，2004.
（8）陳 彬ほか：Wi-Fi電波強度を用いたナイーブベイズによる屋内場所検知．第14回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会（SI2013），2D1-5，2013.

著者紹介

肥田一生（ひだ　かずお）
ヒューマンセントリックコンピューティング研究所ヒューマンソリューション研究部 所属
現在，屋内測位技術の研究に従事。

廣川幸男（ひろかわ　ゆきお）
次世代情報系ソリューション本部 所属
現在，位置情報サービスSPATIOWLの企画・開発に従事。

沢田健介（さわだ　けんすけ）
ヒューマンセントリックコンピューティング研究所ヒューマンソリューション研究部 所属
現在，屋内測位関連の研究に従事。

柳沼義典（やぎぬま　よしのり）
ヒューマンセントリックコンピューティング研究所 所属
現在，実世界の人を対象としたソリューションと，そのための要素技術開発に従事。